

Les conséquences du déboisement d'un versant sur la morphologie d'un petit cours d'eau

The Effect of Logging on the Morphology of a Small Stream

Marc Durocher et André G. Roy

Volume 40, numéro 1, 1986

Premier symposium de la CANQUA

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/032627ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/032627ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cette note

Durocher, M. & Roy, A. G. (1986). Les conséquences du déboisement d'un versant sur la morphologie d'un petit cours d'eau. *Géographie physique et Quaternaire*, 40(1), 99–104. <https://doi.org/10.7202/032627ar>

Résumé de l'article

Le déboisement d'une partie d'un bassin-versant entraîne souvent une augmentation du débit du cours d'eau, ce qui se traduit par des changements de la morphologie du lit. Il est démontré ici que des changements morphologiques et sédimentaires du lit d'un cours d'eau peuvent se produire sans que le débit ne soit nécessairement augmenté. L'étude porte sur un petit cours d'eau situé en Estrie (Québec). Le cours d'eau passe d'une zone forestière à une zone déboisée, mais d'un seul côté. Dans chacun des milieux, la forme du cours d'eau a été relevée et les débits ont été mesurés. Les débits sont demeurés stables, car la parcelle déboisée est de faible pente, de petite taille et irrégulière en surface. Cependant, la forme de la coupe transversale est modifiée. Ainsi, le lit est symétrique sous forêt et est asymétrique en milieu déboisé. Par contre, la taille du cours d'eau n'a pas changé. Le changement morphologique s'accompagne d'une diminution de la taille des sédiments. Ces effets sont liés à des modifications hydrologiques observées au pied du versant où une zone saturée existe maintenant en permanence. Au cours des précipitations, le ruissellement superficiel érode et entaille les berges. Ces dernières s'affaissent, d'où la forme asymétrique de la coupe transversale.

LES CONSÉQUENCES DU DÉBOISEMENT D'UN VERSANT SUR LA MORPHOLOGIE D'UN PETIT COURS D'EAU

Marc DUROCHER et André G. ROY, Département de géographie, Université de Montréal, c.p. 6128, succursale «A», Montréal, Québec H3C 3J7.

RÉSUMÉ Le déboisement d'une partie d'un bassin-versant entraîne souvent une augmentation du débit du cours d'eau, ce qui se traduit par des changements de la morphologie du lit. Il est démontré ici que des changements morphologiques et sédimentaires du lit d'un cours d'eau peuvent se produire sans que le débit ne soit nécessairement augmenté. L'étude porte sur un petit cours d'eau situé en Estrie (Québec). Le cours d'eau passe d'une zone forestière à une zone déboisée, mais d'un seul côté. Dans chacun des milieux, la forme du cours d'eau a été relevée et les débits ont été mesurés. Les débits sont demeurés stables, car la parcelle déboisée est de faible pente, de petite taille et irrégulière en surface. Cependant, la forme de la coupe transversale est modifiée. Ainsi, le lit est symétrique sous forêt et est asymétrique en milieu déboisé. Par contre, la taille du cours d'eau n'a pas changé. Le changement morphologique s'accompagne d'une diminution de la taille des sédiments. Ces effets sont liés à des modifications hydrologiques observées au pied du versant où une zone saturée existe maintenant en permanence. Au cours des précipitations, le ruissellement superficiel érode et entaille les berges. Ces dernières s'affaissent, d'où la forme asymétrique de la coupe transversale.

ABSTRACT *The effect of logging on the morphology of a small stream.* Logging of part of a watershed often yields an increase in discharge and is responsible for important changes of the stream's morphology. In this paper, we show that an increase in discharge following logging operations is not necessary to produce changes in channel form. We have studied a small stream channel located in the Eastern Townships (Québec). The stream flows from a forested to a logged area. Logging took place on one side of the stream. Channel form and water discharge were surveyed in each zone. Discharges are not significantly increased in the logged area. This result is explained by the gentleness and the small size of the logged hillslope. Channel form, however, is modified as a result of logging. The cross-section is symmetrical under forest cover and asymmetrical in the logged area. Particle size also declines from the forested to the logged area. These effects are caused by hydrologic modifications occurring at the foot of the logged hillslope which is permanently saturated. Thus, saturated overland flow is increased in the vicinity of the banks which are eroded by small rills and seepage. As a result, the banks are lowered and the cross-section becomes asymmetrical.

INTRODUCTION

Le déboisement d'une partie d'un bassin de drainage affecte le régime hydrologique des versants et, en retour, ces modifications hydrologiques affectent souvent la morphologie du cours d'eau lui-même. Plusieurs chercheurs ont montré que le déboisement entraîne une augmentation des débits associés au ruissellement de base (ROTHACHER, 1970; PATRIC, 1980) et au ruissellement direct (REINHART et ESCHNER, 1962; PATRIC et REINHART, 1977). Par contre, la concentration des sédiments en suspension n'augmente pas en raison du déboisement lui-même mais plutôt en raison du genre d'opérations forestières pratiquées (BROWN et KRYGIER, 1971; BESCHTA, 1978; PLAMONDON, 1982; BURT *et al.* 1983). Ces effets sont maintenant bien connus.

Les conséquences du déboisement sur la morphologie des cours d'eau se traduisent en général par la dégradation du lit par suite des augmentations importantes du débit. Dans ce cas, on observe une diminution de la pente du lit et une augmentation de la taille de la coupe transversale du cours d'eau (SCHUMM, 1969). De plus, le cours d'eau a tendance à s'inciser. Ces changements morphologiques du cours d'eau sont souvent bien marquées et faciles à détecter.

Par ailleurs, on connaît peu l'ampleur et le genre de modifications que subit la forme du lit lorsque le déboisement n'entraîne pas une augmentation substantielle du débit. En général, on suppose qu'en l'absence d'une augmentation sensible du débit, la morphologie du cours d'eau n'est pas modifiée. Il sera démontré que le déboisement des versants, même s'il ne se traduit pas par des débits accrus, peut modifier suffisamment le régime hydrologique du versant pour affecter la morphologie du cours d'eau. Ces changements se manifestent surtout à proximité des berges. Ces dernières sont soumises à une érosion plus intense et elles s'affaissent. Cette étude porte sur les conséquences du déboisement sur la morphologie d'un petit cours d'eau après le passage d'un milieu forestier à un milieu déboisé. L'analyse morphologique sera précédée d'une comparaison des débits observés en chacun des deux milieux. Nous présentons aussi les conséquences de ces changements morphologiques sur les relations de la géométrie hydraulique.

LE SITE À L'ÉTUDE

Le bassin-versant étudié se situe en Estrie (Québec) à quelques kilomètres au sud-est du mont Mégantic. Il s'agit

du bassin du ruisseau Morin, tributaire de la rivière au Saumon (fig. 1). Le bassin a une superficie d'environ 13 km². L'altitude varie entre 495 m et 800 m, soit une dénivellation d'environ 300 m sur une distance d'environ 4,5 km. Situé dans le domaine de l'érablière à bouleau jaune (GRANDTNER, 1966), le bassin est en grande partie boisé et recouvert de dépôts meubles grossiers constitués principalement d'un placage morainique épais et assez continu.

Un segment de 420 m du cours d'eau principal du bassin a été retenu pour l'étude. Le long de ce segment, le cours d'eau passe d'un milieu totalement boisé à un secteur déboisé. D'une étendue d'environ 300 m sur 800 m, la partie déboisée se trouve uniquement du côté sud du cours d'eau (fig. 1). Il s'agit d'une coupe à blanc vieille de deux ans au moment de la période d'échantillonnage (1984). La litière est assez bien préservée et de nombreux débris jonchent le sol. Une mince bande boisée large de 2 à 3 m a été conservée le long du cours d'eau. La machinerie n'a donc pas modifié les abords du cours d'eau pendant la période d'exploitation. Les pentes du versant de la zone déboisée et du cours d'eau sont faibles, soit d'un peu plus de 1°.

En coupe transversale, le cours d'eau a une forme simple, généralement trapézoïdale, ce qui facilite la détermination du niveau de pleins bords. En plan, le cours d'eau présente un tracé rectiligne. Le matériel du lit est composé de graviers et galets ($D_{50} = 50$ mm). Les sédiments sont imbriqués et forment un dallage presque continu à la surface du lit. Le lit est très peu mobile. De plus, le cycle seuil-mouille n'est pas très régulier et, en général dans le secteur étudié, le lit s'apparente à un seuil.

Ce cours d'eau a été choisi parce qu'il permettait d'étudier deux sites simultanément: l'un, sous forêt et l'autre, en aval,

en milieu déboisé. Le cours d'eau apparemment très stable dans la zone boisée a servi de cours d'eau témoin. De plus, la facilité d'accès et la petite taille du ruisseau Morin (les largeur et profondeur moyennes sont 5,5 m et 0,3 m respectivement) ont facilité la cueillette des données. Enfin, en l'absence de tributaire le long du segment étudié, les changements observés dans la morphologie et l'hydrologie du cours d'eau sont probablement liés au déboisement.

L'ABSENCE D'AUGMENTATION SENSIBLE DU DÉBIT

Afin de comparer les débits du cours d'eau en milieu boisé et en milieu déboisé, une coupe transversale caractéristique de chacun des milieux a été choisie. Les deux endroits présentent un lit relativement plat et se ressemblent quant à la taille et à la disposition des sédiments du lit. À chaque site, le débit de l'eau a été mesuré à neuf reprises. Les débits varient de l'étiage au niveau de pleins bords. Puisque la distance entre les deux endroits n'est que de 120 m, les débits ne variaient que très peu durant les quelques minutes qui s'écoulaient entre les deux mesures. Les données recueillies sont donc directement comparables. Les débits ont été calculés selon une technique de dilution élaborée, entre autres, par CHURCH (1974). Cette méthode s'avère particulièrement efficace lorsque l'écoulement est turbulent, ce qui est caractéristique des petits cours d'eau à lit de graviers et galets; le vélocimètre, par contre, donne des mesures moins fiables (CHURCH, 1974, p. 3).

Les débits observés en milieu boisé et en milieu déboisé sont comparés à la figure 2. La coïncidence entre les valeurs est presque parfaite et tous les points se situent près de la

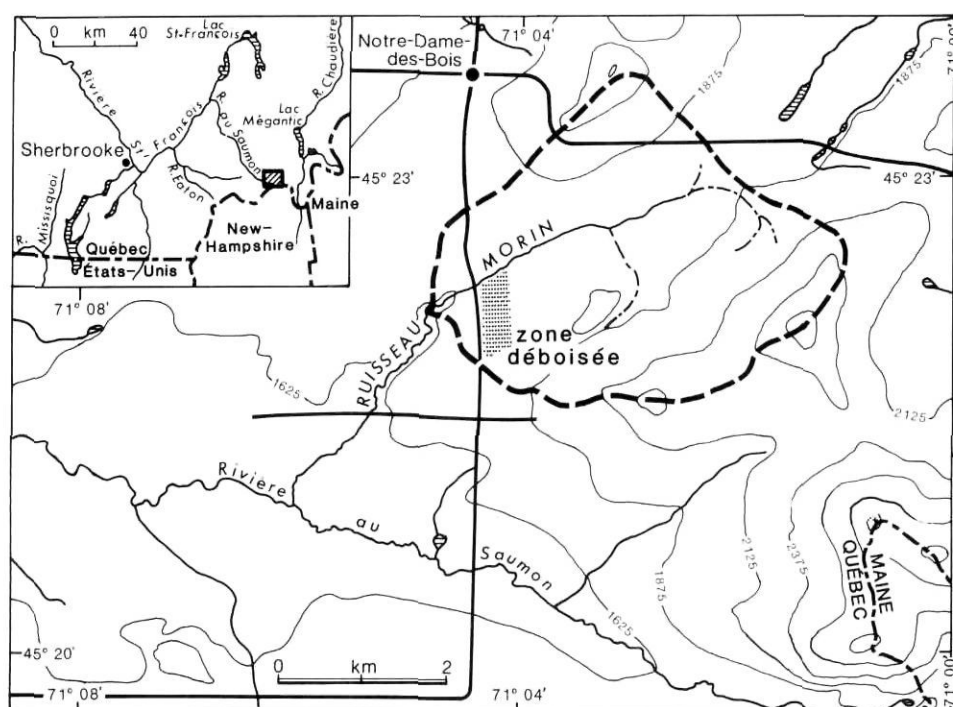


FIGURE 1. Localisation du bassin du ruisseau Morin et du secteur à l'étude.

Location of the study area.

droite d'égalité. Bien que la majorité (6 sur 9) des débits en milieu déboisé soient légèrement plus élevés qu'en milieu boisé, cette différence n'est pas significative ($t = 1,49$, $p = 0,087$). Les débits ont été enregistrés en période d'étiage et à la suite de précipitations appréciables, dont certaines étaient assez importantes. Il ressort donc de cette analyse que ni les débits de base ni les débits de crue ne semblent subir d'augmentation importante.

Au lieu étudié, le régime hydrologique du ruisseau Morin ne semble donc pas modifié en raison du déboisement. Ce résultat n'est pas surprenant et ne peut pas être généralisé compte tenu de la faible pente du versant déboisé et de la petite superficie déboisée par rapport à la superficie totale du bassin-versant (2%). Si on observe certains changements de forme du ruisseau, ils ne pourront être expliqués par l'augmentation des débits, puisque ceux-ci demeurent inchangés.

L'ADAPTATION MORPHOLOGIQUE DU COURS D'EAU

L'ANALYSE MORPHOLOGIQUE

Le long du segment étudié, la forme de la coupe transversale au niveau de pleins bords a été mesurée à tous les 10 m. Il a été ainsi possible de décrire 40 coupes transversales, soit 20 dans chaque milieu. Les variables morphologiques sont la largeur (W), la profondeur moyenne (D), la capacité (WD), le rapport largeur-profondeur (W/D), la pente et l'asymétrie de la coupe transversale. L'indice d'asymétrie (As) se définit comme le rapport entre l'aire à droite (Ad) et l'aire à gauche (Ag) du point central de la coupe transversale (i.e. la moitié de la largeur). Si $As = 1$, la coupe transversale est symétrique. Par contre, lorsque $As > 1$, le talweg s'est déplacé vers la

droite, alors que si $As < 1$ il s'est déplacé vers la gauche. Ici, la droite et la gauche sont déterminées en regardant vers l'aval. Ainsi, le côté déboisé se trouve à gauche. Les relevés morphologiques s'accompagnaient d'un échantillonnage des sédiments du lit. Puisque le lit du ruisseau Morin se compose de graviers et de galets, la méthode utilisée est celle proposée par WOLMAN (1954). Cette méthode consiste à sélectionner au hasard les éléments de la surface dont la taille est mesurée en millimètres.

Les moyennes des variables morphométriques selon les milieux ont été comparées. Les résultats de l'analyse de la variance présentés au tableau I montrent que seuls l'indice d'asymétrie et la taille médiane des sédiments du lit sont sensiblement différents ($\alpha = 0,05$) d'un milieu à l'autre. La coupe transversale passe donc d'une forme presque parfaitement symétrique sous forêt à une forme légèrement asymétrique en milieu déboisé. La valeur moyenne d'asymétrie en zone déboisée indique que le talweg s'est déplacé vers la rive droite, c'est-à-dire vers le côté boisé. Le déplacement du talweg s'accompagne d'une diminution de la taille médiane des sédiments.

Ces modifications de la forme du lit et de la taille du matériel du lit s'effectuent sans que les variables relatives à la taille du cours d'eau ne soient affectées. Ainsi, la capacité et la pente du lit demeurent constantes lorsque l'on passe du milieu boisé au milieu déboisé. On note de très légères modifications de la largeur et de la profondeur moyenne qui en retour affectent le rapport largeur-profondeur.

LA GÉOMÉTRIE HYDRAULIQUE

Les modifications morphologiques du cours d'eau ont un effet sur les relations de la géométrie hydraulique qui expriment

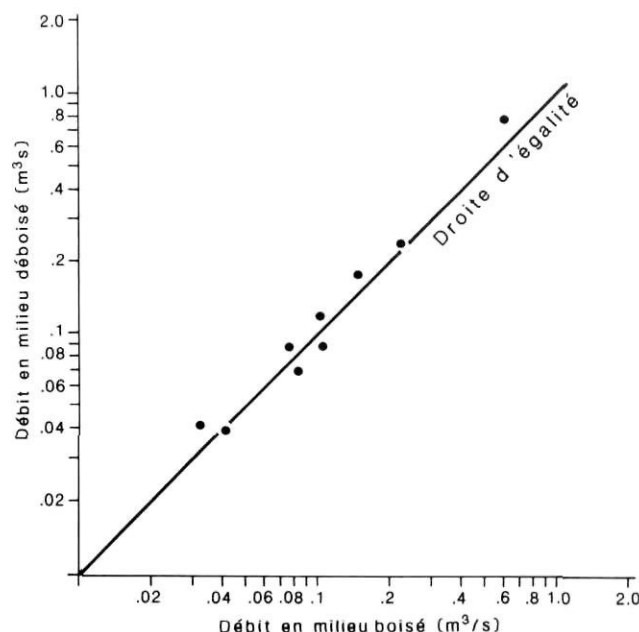


FIGURE 2. Comparaison entre les débits mesurés simultanément en milieu boisé et en milieu déboisé.

Comparison of discharges measured simultaneously at forested and logged sites.

TABLEAU I

Comparaison des moyennes (et des écarts types) des variables morphologiques et sédimentologiques

	Milieu déboisé	Milieu boisé
Capacité (m³)	1,66 (0,42)	1,67 (0,38)
Largeur (m)	5,19 (0,66)	5,56 (0,88)
Profondeur moyenne (cm)	32,4 (7,5)	30,6 (7,0)
Rapport largeur/profondeur	16,9 (4,7)	19,3 (6,3)
Asymétrie	1,21 (0,28)	1,06 * (0,19)
Pente (m/m)	0,020 (0,007)	0,022 (0,005)
Taille des sédiments (mm)	33,8 (24,6)	51,4 * (27,7)

* Différence significative entre les moyennes ($\alpha = 0,05$)

N.B. Les variances sont homogènes pour toutes les variables.

un changement de largeur (W), de profondeur moyenne (D) et de vitesse moyenne (V) par rapport au débit (Q). Les relations de la géométrie hydraulique ont été calculées pour les deux sites. Une 10^e valeur de débit a été ajoutée aux 9 autres mesurées sous forêt qui ont été utilisées lors de la comparaison des débits. Les relations obtenues dans chacun des milieux apparaissent au tableau II. Toutes les relations sont adéquatement représentées par une fonction de puissance et les coefficients de détermination sont très élevés ($R^2 \geq 0,89$). Il n'est donc pas nécessaire de recourir à des équations de forme polynomiale tel que proposé par RICHARDS (1977).

Dans le tableau II, on remarque immédiatement que les exposants des relations entre la vitesse et le débit sont presque identiques. La différence entre la valeur des coefficients est attribuable à la différence entre les tailles des coupes transversales où l'on a effectué les mesures de débit. Lorsque le débit augmente, la vitesse de l'écoulement augmente au même rythme en milieu boisé qu'en milieu déboisé.

Les ajustements de largeur et de profondeur diffèrent cependant d'un site à l'autre. En milieu boisé, l'augmentation de débit est compensée par une augmentation très rapide de la profondeur, mais l'augmentation de la largeur y est très minime. Ce phénomène est attribuable au fait que la coupe transversale en milieu boisé est presque rectangulaire et symétrique. La largeur ne peut donc augmenter que très peu lorsque le débit s'accroît. Par contre, en milieu déboisé, on note que la largeur joue un rôle important dans la géométrie hydraulique. L'accroissement de la largeur se fait au détriment de la profondeur. Ce comportement est imputable à l'asymétrie du cours d'eau qui se traduit par l'adoucissement de la berge du côté déboisé.

LES MODIFICATIONS DES PROCESSUS HYDROLOGIQUES À PROXIMITÉ DES BERGES

Le déboisement affecte la nature de la surface du versant et son régime hydrologique. En raison du déboisement, le taux d'évapotranspiration diminue (LAW, 1956; PEREIRA, 1973; CLARKE et McCULLOGH, 1979; BINNS, 1979) et la quantité des précipitations en eau qui atteint le sol est accrue. Puisque l'interception par les branches et par les feuilles n'existe plus, les précipitations parviennent directement au sol.

L'augmentation de l'apport en eau au versant déboisé ne se traduit pas par une augmentation importante du ruissellement à la surface du sol. Plusieurs facteurs empêchent le mouvement de l'eau en surface. D'abord, la surface du versant est parsemée de petites dépressions qui marquent l'emplacement d'arbres déracinés. Ces dépressions retiennent l'eau qui ne peut donc pas s'écouler sur la surface vers le bas du versant. Les débris forestiers laissés pêle-mêle sur la surface font aussi obstacle à l'eau courante. Enfin, la pente de la parcelle est très faible.

Il est cependant évident que le régime hydrologique du versant a été modifié. Des observations indiquent que la surface est constamment saturée et que le fond des dépressions est gorgé d'eau. Le gradient hydraulique, qui est

TABLEAU II

Relations de géométrie hydraulique entre la largeur (W), la profondeur moyenne (D) et la vitesse moyenne (V) en milieu boisé et en milieu déboisé

Milieu déboisé (n = 10)		Milieu boisé (n = 9)	
Équation	(r ²)	Équation	(r ²)
W = 6,08 Q ^{0.13*}	(0,89)	W = 4,86 Q ^{0.05*}	(0,98)
D = 27,72 Q ^{0.35*}	(0,98)	D = 31,50 Q ^{0.45*}	(0,99)
V = 0,574 Q ^{0.52}	(0,98)	V = 0,653 Q ^{0.50}	(0,99)

* Les exposants des relations sont différents de façon significative d'un site à l'autre (limite de confiance à 95%)

fonction de la pente du versant, étant faible, il s'ensuit que l'eau migre très lentement à travers le sol vers le pied du versant et donc vers le cours d'eau. Il en résulte un apport négligeable et lent au débit du cours d'eau.

Par ailleurs, à proximité des berges les processus hydrologiques ont subi des modifications importantes. Sur une bande d'environ 10 m en bordure du cours d'eau, le ruissellement diffus et même concentré est très actif. Plusieurs rigoles se dirigent vers le cours d'eau (fig. 3) et l'eau qui s'y concentre entaille la berge à plusieurs endroits (fig. 4) et favorise l'érosion en bordure du cours d'eau. On y observe également de nombreuses zones où l'eau suinte et résurge. Ces observations contrastent avec ce que l'on voit sur la berge boisée ou près de celle-ci. Sous forêt, il n'y a aucune trace de ruissellement concentré. Les traces de suintement y sont aussi mineures.

Du côté déboisé, la berge est saturée pendant de longues périodes, ce qui favorise le ruissellement de surface. Ce type de ruissellement est bien connu (BETSON, 1964; DUNNE et BLACK, 1976). Bien que ces processus ne se manifestent que sur une bande très mince, ils modifient de façon nette la morphologie des berges. En de nombreux endroits, la berge du côté déboisé est affaissée et près de celle-ci une quantité importante de sédiments fins s'accumulent sur le lit. À cause de l'érosion de la berge, la coupe transversale du ruisseau devient asymétrique. Le contraste entre les berges boisées et déboisées est nettement visible sur la figure 5. Les sédiments fins provenant des berges sont étalés tout près du bord où l'on observe maintenant de nombreuses échancrures (fig. 4). Le cours d'eau peut donc difficilement les prendre en charge, de sorte que la taille médiane des sédiments du lit est ainsi réduite dans la zone déboisée.

CONCLUSION

Les changements morphologiques subis par le ruisseau Morin sont directement liés au déboisement. Ils ne s'expliquent cependant pas par l'augmentation sensible du débit mais plutôt par les changements hydrologiques survenus en bordure du cours d'eau.



FIGURE 3. Développement de rigoles à proximité du cours d'eau (derrière les broussailles), au pied du versant déboisé.

Rill development near the stream channel (behind the bushes).



FIGURE 4. Entailles de la berge par des rigoles à proximité du cours d'eau au pied du versant déboisé.

Erosion of the stream bank by rills developed on the logged slope.



FIGURE 5. L'asymétrie de la coupe transversale sur le côté déboisé (à droite).

Asymetrical cross-section as a result of logging. The logged area is on the right.

En général, on aborde l'étude des adaptations morphologiques des cours d'eau par le biais des variables relatives à la taille et à la pente. Beaucoup d'études, dont celles de HAMMER (1972), GREGORY et PARK (1974) et MORISAWA et LAFLURE (1979) concluent que les modifications de l'environnement se traduisent par des changements de taille. Ces résultats ne s'appliquent que dans les cas où le débit (ou la charge) est sensiblement modifié. En l'absence de changement important de débit, il n'y a pas de modification de la taille, mais il est possible que la forme de la coupe transversale soit modifiée. Dans le cas étudié ici, les processus à l'origine de ces changements morphologiques se manifestent au pied des versants plutôt que dans le cours d'eau. Les changements sont donc directement liés au déboisement.

L'approche utilisée a permis de mettre en évidence des changements morphologiques qui passent souvent inaperçus. L'intérêt de ces résultats ne réside pas tant dans l'ampleur des conséquences du déboisement sur la morphologie des cours d'eau mais plutôt sur les liens qui existent entre le versant, la berge et le cours d'eau. Une modification de l'hydrologie du versant provoque des changements dans les processus à proximité des berges et donc dans la forme du cours d'eau. Il s'agit d'une adaptation de la coupe transversale du cours d'eau qui reflète les processus des versants. Les changements morphologiques observés sont limités dans l'espace et ne peuvent pas être généralisés. Les conséquences du déboisement sur les cours d'eau peuvent varier selon les conditions locales du lieu étudié. Cependant, l'approche utilisée a permis de mieux comprendre certaines conséquences possibles du déboisement et les liens entre les cours d'eau et le ruissellement.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Alain Parent, Catherine Leduc et Normand Bergeron pour leur aide sur le terrain; M. Claude Bernard et M. Denis A. St-Onge de leurs commentaires judicieux sur des versions antérieures de cette note. Ce projet a été en partie subventionné par le CRSNG.

RÉFÉRENCES

- BESCHTA, R.L. (1978): Long-term patterns of sediment production following road construction and logging in the Oregon Coast Range, *Water Resources Research*, 14, p. 1011-1016.
- BETSON, R.P. (1964): What is watershed runoff?, *Journal of Geophysical Research*, 69, p. 1541-1551.
- BINNS, W.O. (1979): The hydrological impact of afforestation in Great Britain, dans *Man's Impact on the Hydrological Cycle in U.K.*, G.E. HOLLIS, édit., Norwich, Geo Abstract, p. 55-69.
- BROWN, G.W. et KRYGIER, J.T. (1971): Clear-cut logging and sediment production in the Oregon Coast Range, *Water Resources Research*, 7, p. 1189-1198.
- BURT, T.P., DONOHUE, M.A. et VANN, A.R. (1983): The effect of forestry drainage operation on upland sediment yields: the results of a storm-based study, *Earth Surface Processes and Landforms*, 8, p. 339-346.
- CHURCH, M. (1974): Electrochemical and fluorometric tracer techniques for stream flow measurements, *British Geomorphological*

- Research Group Technical Bulletin*, 12, Norwich, Geo Abstract, 69 p.
- CLARKE, R.T. et McCULLOGH, J.S.G. (1979): The effect of land use on the hydrology of small upland catchments, dans *Man's Impact on the Hydrological Cycle in U.K.*, G.E. HOLLIS, édit., Norwich, Geo Abstract, p. 71-78.
- DUNNE, T. et BLACK, R.D. (1970): Partial area contributions of storm runoff in a small New England watershed, *Water Resources Research*, 6, p. 1296-1311.
- GRANDTNER, M.M. (1966): *La végétation forestière du Québec méridional*, Québec, Presses de l'Université Laval, 216 p.
- GREGORY, K.J. et PARK, C.C. (1974): Adjustment of river channel capacity downstream from a reservoir, *Water Resources Research*, 10, p. 870-873.
- HAMMER, T.R. (1972): Stream channel enlargement due to urbanization, *Water Resources Research*, 8, p. 1530-1540.
- HARR, R.D., HARPER, W.C., KRYGIER, J.T. et HSIEH, F.S. (1975): Changes in storm hydrographs after roadbuilding and clearcutting in the Oregon Coast Range, *Water Resources Research*, 11, p. 436-444.
- HORNBECK, J.W. (1973): Storm flow from hardwood-forested and cleared watersheds in New Hampshire, *Water Resources Research*, 9, p. 346-354.
- LAW, F. (1956): The effect of afforestation upon the yield of water catchment areas, *Journal of British Waterworks Association*, p. 489-494.
- MORISAWA, M. et LAFLURE, E. (1979): Hydraulic geometry, stream equilibrium and urbanization, dans *Adjustments of the Fluvial System*, D.D. RHODES et G.P. WILLIAMS, édit., Dubuque, Iowa, Kendall-Hunt, p. 333-350.
- PATRIC, J.H. (1980): Effects of wood products harvest on forest soil and water relations, *Journal of Environmental Quality*, 9, p. 73-80.
- PATRIC, J.H. et REINHART, K.G. (1971): Hydrologic effects of deforesting two mountain watersheds in West Virginia, *Water Resources Research*, 7, p. 1182-1188.
- PEREIRA, H.C. (1973): *Land Use and Water Resources*, London, Cambridge University Press.
- PLAMONDON, A.D. (1982): L'influence de l'exploitation forestière sur la concentration des particules en suspension dans les petits cours d'eau de la Beauce, Québec, *Géographie physique et Quaternaire*, 36, p. 315-326.
- REINHART, K.G. et ESCHNER, A.R. (1962): Effect on streamflow of four different forest practices in the Allegheny Mountains, *Journal of Geophysical Research*, 67, p. 2433-2445.
- RICHARDS, K.S. (1977): Channel and flow geometry: a geomorphological perspective, *Progress in Physical Geography*, 1, p. 65-102.
- ROTHACHER, J. (1970): Increases in water yield following clearcut logging in the Pacific Northwest, *Water Resources Research*, 6, p. 653-658.
- SCHUMM, S.A. (1969): River metamorphosis, *Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers*, 95, HY1, p. 255-273.
- WOLMAN, M.G. (1954): A method of sampling coarse river-bed material, *Transactions of the American Geophysical Union*, 35, p. 951-956.